

高速道路事故におけるドクターヘリコプターを活用した 救急活動に関する研究

Effect of emergency medical service with medical helicopters in a highway accident

齋藤成彦†, 小池則満††

Shigehiko SAITO, Norimitsu KOIKE

Abstract It is necessary for medical helicopters to take part in emergency services for highway accidents. Concerned ministries are creating guidelines to include medical helicopter in emergency services. Ambulance services with medical helicopters have been used gradually in Japan. However, for landing on highways, it's necessary for both police and road management vehicle to be at the accident spot. This causes problems in starting primary treatment early. Our simulation model can show the solution on shorten the starting time of primary treatment which is main purpose of medical helicopters. In addition, cost-benefit analysis by the result of simulation has been done to clarify the effect of death rate reduction. As a result, it becomes clear the great effect of death rate reduction can be done by medical helicopter. If it is possible to conduct traffic regulation by one organization, a bigger effect can be provided. From the viewpoint of cost-benefit balance, the medical helicopter system is a good method.

1. 背景

高速道路では、多重衝突による多数傷病者発生や、重傷者発生のリスクが高いと考えられる。そこで、医療用器具を装備したドクターヘリコプター(以下、ドクターヘリ)を高速道路本線上に着陸させ傷病者の搬送を行うことにより、高速道路事故での死亡者の低減をはかることが考えられ、各地で高速道路本線上での着陸が開始されている。¹⁾

さらに、平成 19 年 6 月 19 日に成立した、救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法²⁾でも示されているように、ドクターヘリの離着陸場所に関して、国、都道府県、市町村、道路管理者は離着陸場所の確保に努めるものと定められているため、今後さらに高速道路本線上の離着陸が進むと考えられている。一方で、一般ドライバーの認知度、交通規制を行うための態勢づくりなど、安全で円滑な活動を行うための課題も多く指摘されている。

2. 研究の目的

高速道路の事故低減に関する研究では、主に設備の改善などによる事故の減少効果が便益として表されているが、事故発生時の傷病者の搬送時間等については、具体的に論じられていない。また、ドクターヘリを用いた救急の効果については、転帰や予後に関する医療従事者の知見は多くある³⁾が、搬送方法別の具体的な経済効果についてはあまり論じられていない。さらに、高速道路上でドクターヘリ救急を活用した前例は少なく、今後の普及のために高速道路設備の改善や、連携体制の強化、また、運用による効果を明らかにする必要がある。⁴⁾

そこで本研究では、各緊急機関の活動をシミュレートし、搬送方法や、連携態勢について考察する。また、公共事業の分析手法のひとつである費用便益分析⁵⁾を用いて、搬送手段別の便益効果を明らかにするとともに、高速道路事故に対するドクターヘリ救急の活用についての提言を行うことを目的とする。

† 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

†† 愛知工業大学 都市環境学科

3. 研究の流れ

本研究の流れを図-1に示す。まず、研究対象区間における高速道路施設の現状を調査する。次に、緊急車両の出動記録を基にパラメータを設定して、交通事故発生時の傷病者搬送シミュレーションを行う。これにより、研究対象区間の傷病者搬送の現状を明らかにする。また、ドクターヘリ活用の有無や、交通規制のあり方を考慮した死亡率低減効果予測を行う。さらに、費用便益分析による有効性評価を行う。

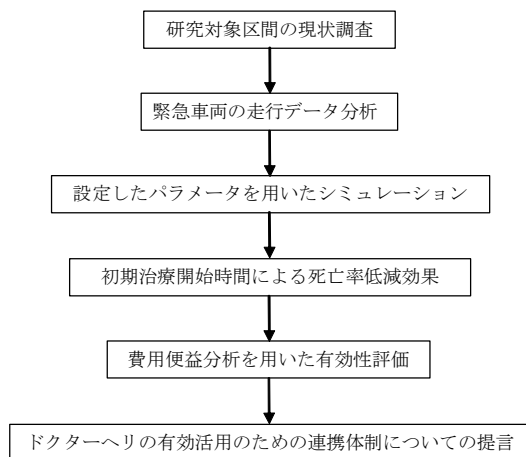


図-1 本研究の流れ

4. 研究対象区間の概要

研究対象区間を図-2に示す。東名高速道路の名古屋I.C(325.4K.P)～宇利トンネル間(262K.P)を研究対象区間とする。これを5KP毎で区切り、シミュレーションを行う。この区間は、愛知県・静岡県のドクターヘリの出動範囲内であり、2機のドクターヘリの出動範囲が重なるという区間であり、今後のドクターヘリ全国展開におけるモデルになるといえる地域である。



図-2 研究対象区間と関係機関の主要拠点

5. シミュレーションプログラムを用いた分析

5.1 シミュレーションプログラムの概要

本研究で想定するドクターヘリの参加した救援システムの概要を図-3に示す。ドクターヘリの着陸は道路管理者、県警高速隊の到着後、離着陸スペースの確保と交通規制が整ってからとなる。本研究で用いるシミュレーションプログラムはこのシステムに従い、初期治療開始までの時間を求める。初期治療開始時間とは、受傷から医師による治療が開始されるまでの時間であり、救急車搬送の場合は病院に到着するまでの時間を指す。ドクターヘリの場合は、ヘリが着陸し、搭乗する医師の治療が開始されるまでの時間を指す。

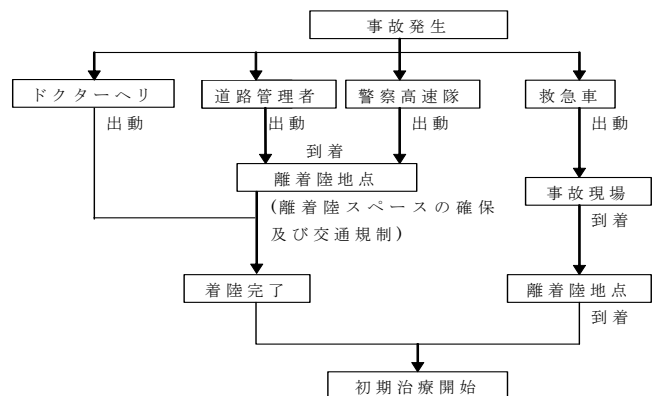


図-3 ドクターヘリの参加した救援システム

本研究で用いるシミュレーションプログラムはGISに組み込んだものである。これに、調査区間での事故に対する関係機関の動きをシミュレートし、地図上に示すことが可能である。

5.2 パラメータの算出

パラメータを設定する上で、道路管理者の対象区間における出動記録を基に図-4に示すような走行モデル⁶⁾を用いた。

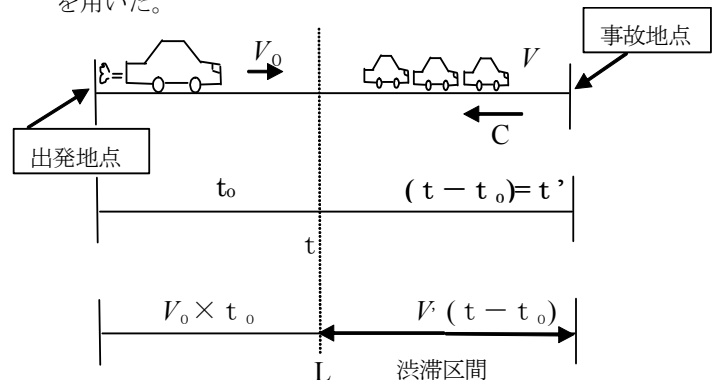


図-4 走行モデル

以下の式に出動記録の走行データを代入し、連立方程式を解くことによって、各走行速度を算出する。

$$L = V_0 \times t_0 + V(t - t_0) \quad (1)$$

$$C = \frac{-V(t - t_0)}{t} \quad (2)$$

ここで、 V_0 ：高速道走行速度 (km/h)

t_0 ：渋滞に入るまでの時間 (min)

V ：高速道渋滞区間走行速度 (km/h)

t ：事故発生から現場到着までの時間 (min)

L ：走行距離 (km)

C ：事故車線渋滞速度 (km/h)

出動時間とは、緊急車両が、要請から出発までにかかる時間を指し、出動時間の平均をとった。算出したパラメータを表 - 1 に示す。

表-1 設定パラメータ

パラメータ	設定値
出動時間 (min)	3
一般道走行速度 (km/h)	40
高速道路走行速度 (km/h)	81
渋滞区間走行速度 (km/h)	27
渋滞速度 当該車線 (km/h)	23
渋滞速度 対向車線 (km/h)	5
ドクターヘリ飛行速度 (km/h)	200
ドクターヘリ現場滞在時間 (min)	10+ α
救急隊現場滞在時間 (min)	10

5.3 シミュレーション結果

シミュレーションは以下の case について行い、初期治療開始時間について考察する。

case1 救急車搬送のみ

case2 ドクターヘリが参加

case3 道路管理車両単独の交通規制によるドクターヘリの離着陸を行った場合

case4 救急車が SA、PA から高速道路に進入する場合

各機関の目標地点への到着時間を図 - 5 に示す。縦軸に事故発生からの時間、横軸に事故想定 KP を示す。図中の表記は以下の機関を指す。Amb：救急車、Pat：警察車両、Con：道路管理車両、Heli：ドクターヘリ

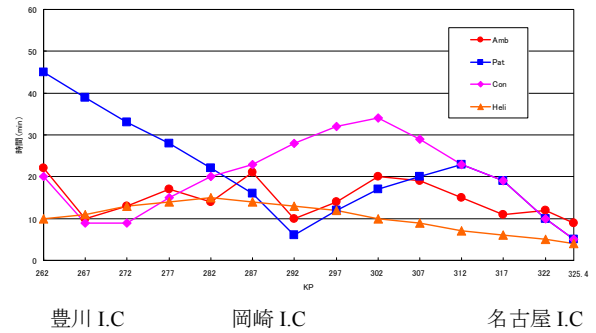


図-5 事故現場到着時間

図 - 5 より、救急車は現場到着時間が早く、全区間で 30 分以内の到着が可能であることが分かる。これは、出発地となる消防署が高速道路付近に多く存在するため、他の車両に比べて事故地点ごとの到着時間に差が少ないことが分かる。道路管理車両、警察は、図 - 2 に示す位置に拠点があるため、拠点から遠ざかるにつれて到着時間が遅れることが分かる。ドクターヘリは、ほとんどの区間で他の部隊より早く現場上空に到着しているが、地上からの支援が必要な現在のシステムでは、本線着陸が困難であるといえる。図 - 5 の結果をもとに、case ごとの初期治療開始時間の比較を行う。

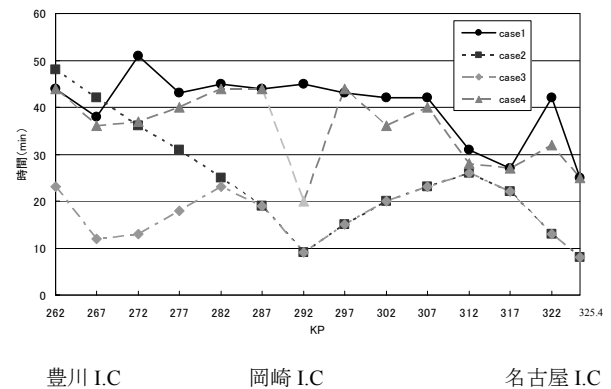


図-6 初期治療開始時間

図 - 6 より、ドクターヘリを活用した搬送の case2 は、通常の救急車搬送 case1 に比べ、全 14 箇所中 10 箇所ですべて初期治療開始時間の短縮効果があることが分かる。また、道路管理車両単独の交通規制によるドクターヘリ搬送 case3 は現在の交通規制システムによるドクターヘリ搬送 case2 に比べて 4 地点で初期治療開始時間短縮に効果があることが分かる。これは、282K.P より東区間では、警察車両の到着時間が遅れる傾向にあるが、出動拠点が比較的近い道路管理車両は警察車両に比べて到着時間が早いためであり、最大で 25 分の初期治療開始時間の短縮となる。case1,4 の比較では、救急車が S.A.P.A から進入

すると、9 箇所において初期治療開始時間の短縮効果がみられることが分かる。これは、事故渋滞による影響が case1 に比べ少ないためと考えられる。以上により、緊急車両の走行には事故渋滞が大きく影響することが分かる。それに比べて、事故渋滞の影響を直接受けることのないドクターヘリには、高速道路事故の救急に有効な搬送手段であると言える。

6. 費用便益分析を用いた評価

6.1 費用便益分析の考え方

費用便益分析⁵⁾とは、公共事業等を実施する際、かけた費用に対してどれだけの便益があったかを金額に換算して分析を行う手法の一つであり、公共事業評価の一指標として大きな役割を果たしている。本来は費用と便益を別箇に計算して比較するが、本研究では、事故による損失額の低減を便益と捉え、その実行に必要な費用との関係から評価を行うこととする。

1) 死亡率と重傷確率

受傷から初期治療開始までの時間と死亡率の関係は、1981 年に M.Cara が報告した『カーラーの救命曲線』⁸⁾を用いることが一般的である。この中に示されている死亡率の中で、交通事故で想定される多量出血後の死亡率を Dr 、重傷率を Sr とする。case 別の初期治療開始時間から算出される合計死亡重傷者の死亡率と重傷率の平均を図 - 7 に示す。

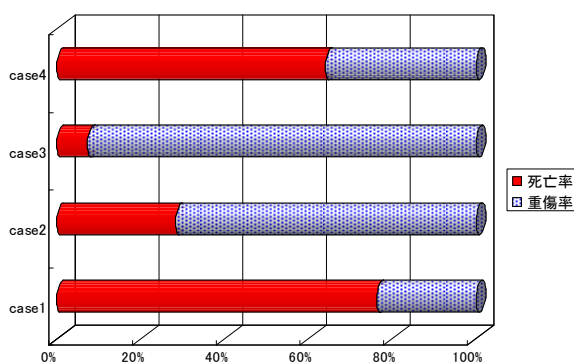


図-7 搬送手段別損失額

2) 死傷者 1 人当たりの損失額

事故 1 件当たりの死傷者の人身損失⁹⁾より、死亡損失額 DI 、重症損失額 SI を定める。

死亡損失 DI	33,515,000	円/人
重傷損失 SI	11,517,000	円/人

3) ドクターヘリ運航費用

研究対象地域内のドクターヘリ 2 機の運航記録と年間出動件数により、出動 1 件当たりの運航費 Sc を算出した。

$$Sc = \frac{1 \text{ 機当たりの年間運航費 } 2 \text{ 億円}}{2 \text{ 機の年間平均出動回数 } 467 \text{ 件}}$$

$$\text{ドクターヘリ運航費用 } Sc = 428,426 \text{ 円/件}$$

4) 事故渋滞増加による損失額

事故渋滞による損失額は、現状のシステムのデータが交通事故減少便益の原単位の算出方法⁹⁾に示されている。ドクターヘリの離着陸には、通常時より長い時間の交通遮断が必要となる。それを考慮し、通常の損失 TI に対して、係数 n を掛けた TI' を定めた。ここでは n を 1.2 として計算する。

事故渋滞損失額 TI	1,318,000 円
事故渋滞増加時損失額 TI'	1,581,600 円

6.3 損失額、便益額の算出方法

1)~4)に示したデータより、以下の式により費用 c 及び便益額 E を算出する。

$$c = Dr \times DI + Sr \times SI + Sc + TI \quad (3)$$

$$C_i = \sum c_{in} \quad (n = 262 \sim 325.4) \quad (4)$$

$$E_i = C_i - C_1 \quad (5)$$

6.2 損失額、便益額の算出結果及び考察

式(3),(4)により求めた、調査区間 14 箇所の case 別損失額の合計費用 C を図 - 8 に示す。

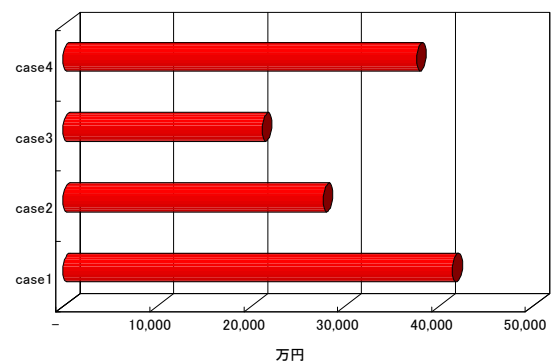


図-8 搬送手段別損失額

図 - 8 により、case1,4 の救急車搬送では、case2,3 のドクターヘリを用いた搬送に比べ、損失が大きくなる結果

となった。図 - 8 から、式(5)を用いて **case1** の費用を引いた便益額 $E_2 \sim E_4$ を図 - 9 に示す。値が大きいほど改善効果が高いことを示す。

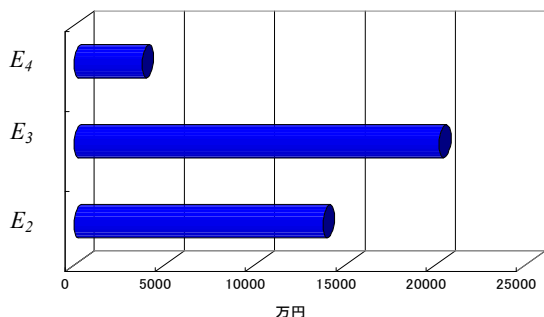


図-9 搬送手段別効果額

図 - 9 より、救急車のみのシステムに比べて、他の搬送方法に便益効果があることがわかる。特に、 E_2 E_3 の便益額が大きく、ドクターヘリの運航による効果が高いことが分かる。次に、初期治療開始時間と便益効果の関連性を明らかにするために、図 - 10～12 に調査地点毎の初期治療開始時間(T)と便益額(E)を示す。

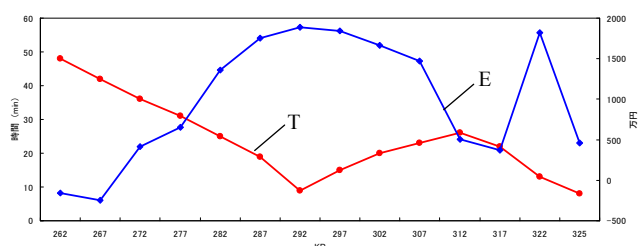


図-10 初期治療開始時間と便益額,case2

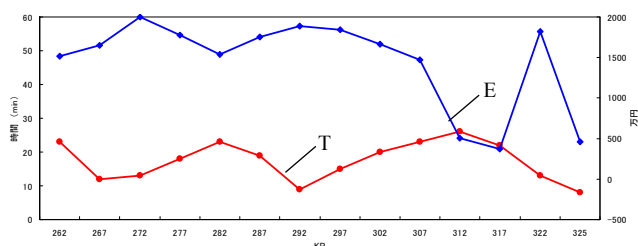


図-11 初期治療開始時間と便益額,case3

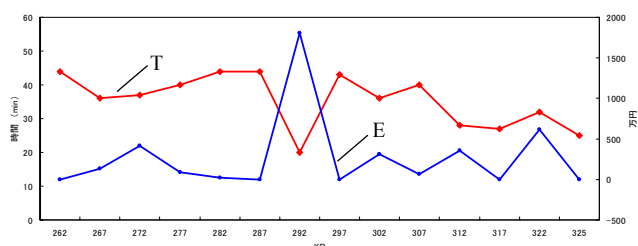


図-12 初期治療開始時間と便益額,case4

図 - 10～12 より、便益額は初期治療開始時間に大きく影響を受け、約 30 分以内に初期治療が開始される **case2,3** は大きな便益額を示し、**case4** では、初期治療開始時間が概ね 30 分を超える区間がほとんどであるため、便益額も小さな値を示している。しかし、図 - 10,11 の 312,317 K.P では、初期治療開始時間が早いにも関わらず、便益額が小さな値を示している。これは、救急車の出動拠点と事故地点、搬送先病院の距離が近い場合、救急車搬送とドクターヘリ搬送の初期治療開始時間に差がないためであると考えられる。

次に、損失額(C)に対する便益額(E)の関係を表したものを図 - 13～15 に示す。

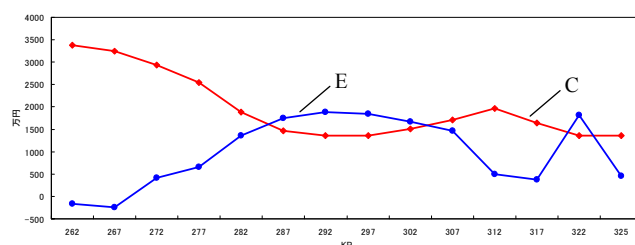


図 - 13 損失と便益, case2

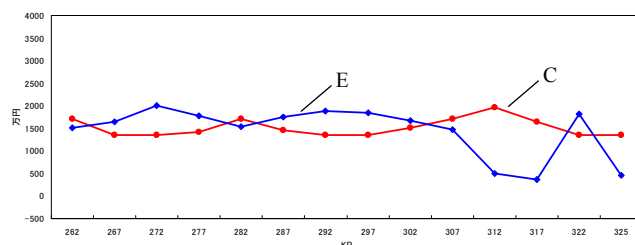


図 - 14 損失と便益, case3

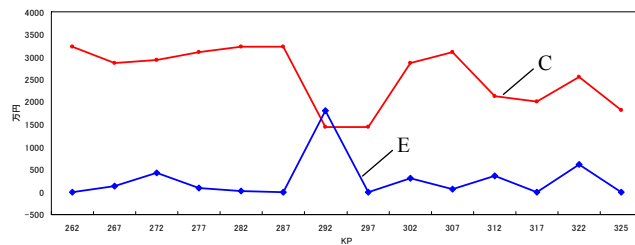


図 - 15 損失と便益, case4

図 - 13,14 の比較により、282K.P 以東では **case2** に対して、**case3** の損失額が小さく、便益額は大きくなっていることが分かる。これは、図 - 6 の初期治療開始時間が大きく影響していることが分かり、道路管理車両の交通規制に効果があること示している。また、救急車が S.A.P.A

から高速道路への進入を行った場合、図 - 15 の 292K.P で表れているように、費用と便益の関係には、一様な関係性はみられない。これは、高速道路の特性によるもので、事故地点の前後の I.C,S.A,P.A などの施設の位置に影響を受けると考えられる。図 - 13~15 の中で、費用を便益が上回る箇所が最も多いのは図 - 14 の道路管理車両による交通規制を行ったドクターヘリ救急であり、14 箇所中、8 箇所ですべて優れた便益効果が表れることが分かった。以上によって、費用と便益の関係から、最も優れた効果が見込まれる搬送条件は case3 と言える。

7. まとめ

本研究では、高速道路事故発生時の傷病者搬送をシミュレーションし、その結果より費用便益分析を用いて搬送方法の評価を行った。以下に本研究により得られたことをまとめる。

- (1) シミュレーションにより、ドクターヘリの現場到着時間が早く、本線着陸のためには地上の機関の迅速な到着が必要であることが分かった。
- (2) ドクターヘリを活用した搬送の case2 は、通常の救急車搬送 case1 に比べ、全 14 箇所中 10 箇所ですべて初期治療開始時間の短縮に効果があり、死亡率低減に大きく貢献することが分かった。
- (3) 費用便益分析により、道路管理車両と警察車両で先に事故現場に到着する機関が単独で交通規制を行った場合に、死亡率低減効果だけでなく、14 箇所中、8 箇所ですべて

れた便益効果があることが分かった。

謝辞

本研究は、財団法人日東学術振興財団 (The Nitto Foundation) の助成による成果の一部である。

また、本研究遂行にあたり、多くの方から助言、資料提供等をいただいた。記して感謝の意を表す次第である。

【参考文献】

- 1) わが国ヘリコプター救急の進展に向けて、救急ヘリネットワーク, pp34, 2005.
- 2) 救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法, 平成 19 年 6 月 27 日法律第 103 号, 2007.
- 3) ドクターヘリ導入と運用のガイドブック, pp108-109, メディカルサイエンス社, 2007.
- 4) N.Koike,S.Saito,K.kurita, *A Rescue Simulation System using a medical helicopter for road accidents on highways in Japan, HeliJapan2006*, 2006.
- 5) 費用便益分析マニュアル, 国土交通省道路局, 2003.
- 6) 河上省吾, 松井寛, 交通工学, pp111, 森北出版, 1987.
- 7) 上掲 5)
- 8) 消防庁HP, <http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h15/html/15k12000.html>
- 9) 交通事故減少便益の原単位の算出方法, 国土交通省道路局, 2003.
- 10) 上掲 9)

(受理 平成 20 年 3 月 19 日)